کاربرد پلاسمای سرد اتمسفری و تاثیر آن بر قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی

The application of the atmospheric cold plasma and its impact on plant pathogenic fungi

سپیده سادات آقازاده نایینی[1*]، سمیه فراهانی[1] و عباس ناصحی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۱۰

چکیده

بیمارگرهای گیاهی سالانه مسئول بروز خسارات اقتصادی شدید در کشاورزی و محیط زیست در سراسر دنیا هستند. به کارگیری روش‌های کنترلی مناسب، مقرون به صرفه و عاری از آلودگی‌های زیست محیطی در بیماری‌های گیاهی به طور مداوم در حال توسعه است. در سال‌های اخیر استریل کردن عوامل بیماری‌زای گیاهی توسط پلاسمای سرد یکی از مهم‌ترین موضوعات پژوهشی در دنیا محسوب می‌گردد. پلاسما به گاز یونیزه شده‌ای اطلاق می‌شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون از دست داده و به یون‌های مثبت تبدیل شده است، نظیر گونه‌های فعال اکسیژن، رادیکال‌های آزاد OH و ... ، که با نابودسازی اسیدهای چرب غیر اشباع و مولکول‌های پروتئین در غشای سلولی بیمارگرهای قارچی منجر به مرگ قارچ و در نتیجه تیمار گیاهان آلوده می‌گردد. در این مقاله مروری، به تأثیرات پلاسمای سرد اتمسفری بر قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی و چگونگی عملکرد آن به عنوان یک ابزار کنترلی موثر به منظور جلوگیری از گسترش آلودگی‌های ناشی از آن پرداخته می‌شود.

واژگان کلیدی: پلاسمای سرد اتمسفری، گونه‌های فعال اکسیژن، رادیکال‌های آزاد، کنترل ، قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین-پیشوا، دانشکده کشاورزی، گروه بیماری¬شناسی گیاهی، ورامین، ایران

۲- فوق دکتری بیماری‌شناسی گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات: s_aghazadeh@ymail.com

مقدمه

گیاهان از نظر تامین غذا برای انسان‌ها و سایر جانداران، تولید فرآورده‌های صنعتی، دارویی و سالم‌سازی محیط نیز بسیار مهم می‌باشند. بنابراین توجه به حفظ و سلامتی گیاهان از اهمیت خاصی بر خوردار است .بیمارگرهای گیاهی، شرایط جوی نامناسب، علف‌های‌هرز و آفات گوناگون عمده‌ترین عوامل تقلیل محصول و یا نابودی گیاهان به شمار می‌روند. از میان عوامل یاد شده میزان خسارت سالانه ناشی از عوامل بیماری‌زا بر محصولات کشاورزی بیش‌تر از سایرین بوده و از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشند (Valent, 2004; Pimentel *et al.*, 2005). بیماری‌های گیاهی قادرند عامل محدود کننده کاشت یک گیاه در یک منطقه و یا یک کشور بوده و تمام گیاهان یک گونه حساس به بیماری خاصی را نابود ساخته و خسارات شدیدی به محصول وارد سازند. لذا بهره‌گیری از روش‌های مناسب با هدف کاهش میزان خسارت عوامل بیماری‌زای گیاهی که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشند و همچنین دارای حداقل آلودگی‌های زیست محیطی باشند، بسیار حائز اهمیت است. به جهت افزایش کیفیت محصولات کشاورزی، آماده‌سازی، ذخیره‌سازی و مصرف مواد غذایی به صورت ایمن و بدون آلودگی با حفظ مواد مغذی، نقش مهمی در حفظ سلامت و بهداشت محصولات کشاورزی دارد. استفاده از فناوری‌های پیشرفته و کسب موقعیت اقتصادی بهتر، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای بخش کشاورزی است. سیستم پلاسمای سرد به عنوان راهکاری نوین و کارآمد می‌تواند نقش مؤثری برای بالا بردن اهداف صنایع غذایی و کشاورزی داشته باشد (Pimentel *et al.*, 2005). پلاسمای سرد اتمسفری در زمینه‌های مختلف از جمله در بخش‌های صنعتی، پزشکی، کشاورزی و غیره عموماً با هدف ضدعفونی بکار می‌رود که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است (Fridman and Kennedy, 2011). روش‌های قدیمی برای مواد حساس به گرما مناسب نیستند و از طرف دیگر پس ماندهای گازی و سمی بر جای می‌گذارند. گونه‌های فعال شیمیایی تولید شده توسط پلاسما طول عمر کوتاهی دارند. همچنین پلاسما تابش مضر ندارد. عوامل پلاسما شامل تابش فرا بنفش، گونه‌های فعال اکسیژن و ذرات باردار هستند و در بی‌اثر سازی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا نظیر قارچ‌ها و باکتری‌ها نقش مهمی دارند (Fridman, 2008). پلاسمای سرد اتمسفری در سال‌های اخیر به دلیل مقرون به صرفه بودن، ارائه عملکرد مناسب و نیز به دلیل مزایای گوناگون به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مزایای کاربرد پلاسمای سر اتمسفری در کنترل بیماری‌های گیاهی از جمله بیمارگرهای قارچی عبارتند از: عدم وجود اثرات نامطلوب گازها مانند سمیت وکاهش آلودگی‌های محیط زیست، خطرات برای انسان و حیوانات در مقایسه با سموم شیمیایی (Graves, 2012). در این مقاله مروری به تأثیرات پلاسمای سرد اتمسفری بر قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی و چگونگی عملکرد آن به عنوان یک ابزار کنترلی مؤثر به منظور جلوگیری از گسترش آلودگی‌های ناشی از آن پرداخته می‌شود.

پلاسما و انواع آن

به‌طور کلی پلاسما، به عنوان حالت چهارم ماده شناخته می‌شود. با افزایش دما و افزایش انرژی مولکول‌ها، حالت ماده تغییر می‌کند. انرژی زیاد مولکول‌ها منجر به جداسازی اتم‌های گازی و در نهایت آزادسازی ذرات باردار، الکترون‌ها و یون‌های باردار مثبت می‌شود. پلاسما شامل الکترون و یون‌های مثبت در حال تعادل است (Fridman and Kennedy, 2011). در واقع می‌توان گفت پلاسما شامل ذرات باردار (الکترون‌ها، یون‌ها ، اتم‌ها، مولکول‌های برانگیخته، رادیکال‌های آزاد، اتم‌های فعال و فوتون‌های UV) است. وجود این عوامل در فضای پلاسما می‌تواند خواص متفاوتی را برای آن ایجاد کند. برحسب دمای پلاسما، به دو دسته پلاسمای سرد و پلاسمای گرم تقسیم‌بندی می‌شود (Fridman, 2008). در پلاسمای گرم، تخلیه گازی با فشار بالایی همراه بوده، در واقع برخورد بین الکترون‌ها و مولکول‌های گاز بیش‌تر است (Becker *et al.*, 2005). در پلاسمای سرد، تخلیه‌های گازی با

فشار پایین همراه بوده و آهنگ برخورد بین الکترون‌ها و مولکول‌های گاز به اندازه پلاسمای گرم نیست، بنابراین یک تعادل غیر دمایی بین الکترون‌ها و مولکول‌های گاز به وجود می‌آید (Fridman, 2008).

پلاسمای سرد اتمسفری را می‌توان به سه دسته اصلی (۱) پلاسمای مستقیم، (۲) پلاسمای غیر مستقیم و (۳) پلاسمای هیبرید تقسیم کرد. در پلاسمای مستقیم بافت هدف به عنوان الکترود ثانویه به کار می‌رود. بنابراین جریان الکتریکی باید از بافت عبور کند. در این نوع تابش از پلاسما تمام عوامل موجود در پلاسما اعم از ذرات باردار، عوامل فعال شده و رادیکال‌های آزاد وجود دارند پلاسمای غیرمستقیم بین دو الکترود تولید شده و سپس با یک فشار گازی به محیط مورد نظر منتقل می‌شود . پلاسمای اتمسفری توسط ابزارهای متفاوتی نظیر سوزن پلاسمایی و مشعل‌های پلاسمایی تولید می‌شود. در این نوع پلاسما مقدار تابش و حرارت ناچیز است؛ زیرا شدت آن‌ها تا رسیدن به سطح نمونه به مقدار زیادی افت می‌کند (پلاسمای هیبرید تلفیقی از تکنیک پلاسما نوع اول با ویژگی‌های پلاسمای نوع دوم است. این نوع از پلاسما با به کارگیری الکترود توری متصل به زمین به دست می‌آید که مقاومت الکتریکی بسیار کم‌تری نسبت به بافت هدف دارد؛ بنابراین عملاً تمام جریان از سیم‌های فلزی عبور می کند (Kong *et al.*, 2002; Morfill *et al.*, 2002).

مکانیسم تخلیه الکتریکی در پلاسما

در حدود دهه ۱۷۵۰، با باردار کردن الکتروستاتیکی یک حباب شیشه‌ای که هوای درون آن به وسیله پمپ‌های خلأ مکیده می‌شد، تخلیه الکتریکی به طور مصنوعی انجام می‌شد. تخلیه الکتریکی گاز، زمانی اتفاق می‌افتد که جریان الکتریکی در داخل ماده گازی به وجود آید. در تقسیم‌بندی تخلیه‌های الکتریکی، ناحیه تخلیه را می‌توان به سه منطقه کلی تقسیم کرد: (۱) **تخلیه تاریک** برای اختلاف پتانسیل‌های بسیار ناچیز، گاز همانند یک عایق نسبتا خوب رفتار می‌کند. (۲) **تخلیه نورانی** اگر شدت جریان تخلیه را افزایش دهیم، اختلاف پتانسیل مورد نیاز برای نگهداری تخلیه شروع به کاهش می‌کند. (۳) **تخلیه قوسی** با زیاد شدن مجدد جریان، به طور ناگهانی ولتاژ شروع به کاهش می‌کند، در این حالت شدت جریان لوله تخلیه بیش از یک آمپر می‌شود (Morfill *et al.*, 2002).

کاربرد پلاسمای سرد در کشاورزی و کنترل بیماری‌های قارچی

فناوری پلاسمای سرد در بخش‌های کشاورزی و محیط زیست بر مبنای افزایش کیفیت محصولات کشاورزی و همچنین فروش محصول در بازار جهانی تدوین شده است. یکی از کاربردهای پلاسمای سرد از بین بردن قارچ‌ها، کپک‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌هایی است که در محصولات کشاورزی وجود دارند. مؤسسات تحقیقاتی جهان نظیر Institute for food safety and health (IFSH)، Nyheim plasma institute و Drexel university از سال‌ها قبل به دنبال روش جایگزین مناسبی برای رفع آلودگی ناشی از عوامل بیماری‌زا بر محصولات کشاورزی بوده‌اند. بهره گیری از سیستم‌های پلاسما یکی از جایگزین‌های بی‌خطر است که در سطح وسیعی در اتحادیه اروپا استفاده می‌شود.

از سال ۲۰۰۶ مجموعه‌ای از شرکت‌های اروپایی استفاده از پلاسمای سرد را به عنوان راه حلی برای تولید و توزیع مواد غذایی سالم معرفی کرده‌اند و این روش را برای ضدعفونی و افزایش ماندگاری صنایع غذایی موثر دانستند (Valinataj, 2010).

سیستم پلاسما ظرفیت جوانه‌زنی بذر، ظرفیت باردهی گیاهان و انرژی رشد بذر را افزایش و نرخ بیماری گیاهان را کاهش می‌دهد. از ویژگی‌های پلاسمای سرد می‌توان به مواردی مانند اصلاح بذر گیاه بدون تغییر ذاتی مواد، میزان اثرگذاری طولانی مدت، صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های مواد

و انرژی و استانداردهای محیط‌زیستی بالا اشاره کرد (Thirumdas *et al.*, 2015). در تحقیقی تاثیر پلاسمای سرد اتمسفری در غیرفعال شدن قارچ *Cladosporium fulvum* عامل لکه‌برگی در گوجه فرنگی، مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که تیمار گوجه فرنگی توسط پلاسمای سرد به مدت ۶۰ ثانیه منجر به غیرفعال شدن قارچ *C. fulvum* می‌گردد. با توجه به نیروی الکتروستاتیک حاصل از پلاسمای سرد، غشا سلولی *C. fulvum* مختل و سیتوپلاسم به محیط اطراف منتشر می‌شود. مولکول‌های پروتئین و DNA نیز در پی غیرفعال شدن محیط سیتوپلاسم نیز نابود می‌شوند (Qianqian *et al.*, 2014). در بررسی دیگری که تاثیر پلاسمای سرد بر جوانه‌زنی اسپورهای قارچ *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* بر روی محصول گوجه فرنگی مورد مطالعه قرار گرفت، علاوه بر کاهش میزان جوانه‌زنی اسپورهای قارچ طی ۱۰ دقیقه تیمار گوجه فرنگی توسط گاز آرگون، افزایش القا بیان ژن‌های دفاعی (PR genes) در ریشه نیز مشاهده شد (Panngom *et al*., 2014). در یک بررسی توسط زانگ و همکاران (۲۰۱۴)، پنج برگ از گیاه گوش گرگی (فیلودرون) *Philodendron erubescens* حاوی ۲۱۵ لکه‌های سیاه آلوده به سلول-های قارچی *Colletotrichum gloeosporioides* با استفاده از پلاسما تحت تیمار قرار گرفتند. مدت تیمار دو بار در هر روز (به فاصله ۱۲ ساعت) و مدت رهاسازی گازها ۱۰ ثانیه برای جلوگیری از آسیب به بافت برگ‌های گیاه در نظر گرفته شد، نتایج نشان داد که تیمار برگ‌ها توسط پلاسما، پس از گذشت سه هفته منجر به کاهش اندازه لکه‌ها از قطر دو میلی‌متر به یک میلی‌متر شد (شکل ۱) (Xiong *et al.*, 2014). قارچ *Aspergillus niger* به دلیل تولید توکسین‌های فومونیسین (FB2) و اکراتوکسین (oTA) به عنوان یک بیمارگر مهم عامل تهدید کننده محصول خرما در عربستان محسوب می‌شود. در آزمایشی که توسط اُف و همکاران (۲۰۱۵) انجام گرفت، اثر پلاسمای سرد اتمسفری برای ضدعفونی این محصول در برابر جوانه‌زنی اسپور و تولید مایکوتوکسین این قارچ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد فشار اتمسفری پلاسمای سرد با استفاده از افزایش جریان گاز آرگون به مدت ۱ یک تا ۳/۵ دقیقه منجر به کاهش درصد زنده ماندن اسپورهای *A. niger*، در خرماهای مایه‌زنی شده با اسپور این قارچ شد. همچنین به تدریج میزان توکسین‌های فومونیسین و اکراتوکسین در خرماهایی که در معرض تابش پلاسمای سرد اتمسفری گرفته بودند، کاهش یافت (Ouf *et al*., 2015). در یک بررسی که توسط کورداس و همکاران (۲۰۱۴) انجام گرفت، اثر پلاسما در میزان بیماری‌زایی گونه‌های مختلف قارچ فوزاریوم (*Fusarium* spp.) بر کیفیت دانه در گندم زمستانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تیمار بذور با پلاسما به مدت ۱۰ ثانیه در ولتاژ ۸ کیلو ولت منجر به کاهش تعداد کلنی می‌گردد. همچنین بهره‌گیری از این روش منجر به افزایش کیفیت در جوانه‌زنی بذور گشت (Kordas *et al.*, 2015). در یک پژوهش، تأثیر پلاسما بر میزان اسپوردهی قارچ *Fusarium fujikuroi* در محصول برنج مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهره‌گیری از این روش تا حد زیادی در ضدعفونی بذور برنج از قارچ موثر بوده است (Kang *et al.*, 2015). مطالعات حاصل از تأثیر پلاسمای سرد اتمسفری بر میزان افلاتوکسین ناشی از قارچ *Aspergillus flavus* در محصول پسته نشان داد که تیمار محصول پسته توسط گازهای N_2 و O_2 به مدت ۱۲ دقیقه منجر به کاهش توکسین به میزان بیش از ۷۰٪ شد (Siciliano *et al*., 2016).

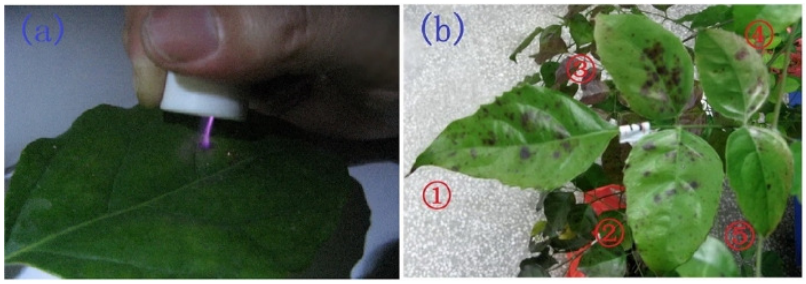
دستگاه پلاسما جهت کنترل قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی

از آن‌جایی که استفاده از پلاسما در پزشکی و فعالیت‌های زیستی بسیار متداول است، لذا طراحی یک مدار قابل حمل و کوچک و سازگار با بافت گیاه بسیار حائز اهمیت است. دستگاه پلاسمای طراحی شده جهت کنترل بیماری‌های گیاهی از جمله قارچ‌ها، به شکل سوزن برای سطح برگ گیاه، مورد استفاده قرار می‌گیرد و مخلوط‌های گازی O_2 توسط این دستگاه راه سازی می‌شود. این دستگاه عمدتاً از یک سیم تنگستن به طول ۱۰ سانتی‌متر و به

قطر ۳۶۰ میکرومتر تشکیل شده است، یک کوارتز فایبر توخالی با قطر داخلی ۴۰۰ میکرومتر و قطر خارجی ۱/۲ میلی متر، و یک بخش لوله‌ای با قطر داخلی ۰/۵ میلی‌متر، که همگی در داخل یک پوشش پلی‌تترا فلور اتیلن که نوعی پلی‌مر با وزن مولکولی بالا است و نسبت به خواص الکتریسیته عایق است، در اطراف آن قرار می‌گیرد. سیم تنگستن به‌عنوان یک الکترود ولتاژ بالا، به یک فیبر تو خالی مهر و موم شده و در یک سر دستگاه قرار داده می‌شود. یک فیلم نقره در سطح خارج از لوله شیشه‌ای به عنوان الکترود زمین عمل می‌کند (Xinng *et al.*, 2010). این دستگاه همچنین گاز را با جریان استاندارد ۱/۵ لیتر در هر دقیقه، با ولتاژ وسیعی از ۱۵-۰ کیلو ولت در فرکانس ۸/۷ کیلو هرتز از طریق لوله شیشه‌ای تزریق می‌کند. دستگاه پلاسما می‌تواند توسط کارشناس در دمای اتاق (۳۰ درجه سلسیوس) بدون هیچ گونه آسیبی به بافت برگ گیاه آلوده به بیمارگر، گازهای مختلف را رهاسازی نماید. معمولاً فاصله بین خروجی از لوله شیشه‌ای و برگ گیاه ۱/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲) (Xinng *et al.*, 2010; Dunlap *et al.*, 1994). مدت زمان آزادسازی گاز توسط دستگاه پلاسما، نباید بیش‌تر از ۲۰ ثانیه باشد، در غیر این‌صورت منجر به آسیب دیدن رگبرگ‌ها و سلول‌های گیاهی می‌شود (Xiong *et al.*, 2014).

شکل۱. علائم اولیه از ۵ برگ آلوده به قارچ *C. gloeosporioides* و نشانه‌های بهبودی پس از تیمار توسط پلاسما از هفته اول تا سوم (Xiong *et al.*, 2014).

Fig. 1. The initial symptoms of the five infected leaves to *C. gloeosporioides* fungus and signs of recovery after treatment by plasma from the first to third week (Xiong *et al.*, 2014)



شکل ۲- (a) پلاسمای جت اتمسفری در تماس مستقیم با برگ گیاه آلوده شده به قارچ *C. gloeosporioides* (ب) علائم اولیه برگ آلوده به قارچ *C. gloeosporioides* (Xiong *et al.*, 2014)

Fig. 2. (a) Atmospheric plasma jet in direct contact with the *C. gloeosporioides* fungus-infected leaves, (b) The initial symptoms of infected leaves to *C. gloeosporioides* fungus (Xiong *et al.*, 2014)

بحث

آنچه از مطالعه تاثیر پلاسمای سرد بر بیمارگرهای قارچی به دست آمده است، نشان می‌دهد که بکارگیری این روش در کنترل قارچ‌ها از طریق تخلیه الکتریکی، ذرات باردار، رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسژن از جمله پارامترهای عمده در غیـرفعال کردن قارچ‌ها محسوب می‌گردند. اسکیلر و همکاران (۱۹۹۸) پیشنهـاد کـردند که می‌توان اسیدهای چرب غیراشباع و مولکول‌های پروتئین در غشای سلولی بیمارگرهای قارچی را توسط پلاسما نابود کرد. این نابودسازی عموماً توسط گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد OH، موجب بروز آسیب‌های شدید به غشاء و همچنین منجر به شکستن پیوندهای دیواره ی سلولی میکروارگانیسم‌ها از جمله قارچ‌ها شده که منجر به تخریب اندامک‌های سلول قارچی از جمله واکوئل‌ها شده که در نهایت منجر به مرگ قارچ می‌گردد. به کمک روش پلاسما می توان از طریق لوله‌های میکرونی با اثرات اکسیداتیو قوی بر روی سلول‌های بیمارگر، و پس از عبور از غشای سلـولی و واکنش با واکـوئـل‌ها، پلی ساکاریدها، و مولکـول‌های پروتئینی در سلـول‌های بیمارگـر منجـر به غیرفعال شدن سلول‌های بیمارگر گردید. پلاسمای اتمسفری می‌تواند در درمان بافت‌های گیاهی آلوده به بیمارگر مختلف به طور گسترده در زمینه کنترل مورد استفاده قرار گیرد (Schiller *et al.*, 1998).

پلاسما، فن‌آوری موفقی در زمینه‌های مختلف است. در بخش کشاورزی بهره‌گیری از این روش می‌تواند یک جایگـزین موثر برای سـایر روش‌های درمان بیماری‌های گیـاهی از جملـه ضدعفـونی بذور از میکروارگانیسـم‌های بیمـاری‌زا، قبـل از کاشت، محسـوب گـردد و جایگـزین مناسبـی برای سموم شیمیـایی پرهزینـه و مضـر باشـد (Filatova *et al.,* 2011). در پژوهش‌های مختلف تاثیـر بازدارندگی قارچ‌های بیماری‌زای گیـاه توسط پلاسمـای سـرد به اثبات رسیـده است. بـرای مثـال، بهـره‌گیری از این روش مانـع از رشـد و فعـالیت قـارچ‌های *C. fulvum* و *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* در محصول گوجه فرنگی شده است و همچنین منجر به بروز مقاومت محصول گشتـه است (Qianqian *et al.*, 2014: Panngom *et al*., 2014). همچنیـن استفـاده از پلاسمـای سـرد بـه مـدت ۱۰ ثانیـه، در طـی سـه هفتـه منجـر به کاهـش کلنـی‌های تشکیـل شـده قـارچ *C. gloeosporioides* در گـیـاه *P. erubescens* شد (Xiong *et al.*, 2014). در تحقیـق دیگـری، کاربرد پلاسمای سـرد در کاهش میـزان توکسیـن قارچ‌های *A. niger* و *A. flavus* به ترتیب در محصولات خرما و پسته نیز موثر واقع شده است (Ouf *et al*., 2015; Siciliano *et al*., 2016). پلاسمای سرد نه تنها در ضدعفونی بذور قبل از کاشت محصول تأاثیرات چشم‌گیری بر جای گذاشته، بلکه در جوانه‌زنی بذور با عملکرد بهتر نیز مثمرثمر واقع شده است که با نتایج حاصل از برخی پژوهش‌ها تطابق دارد، تیمار بذور برنج و گندم توسط پلاسما منجر به کاهش فعالیت قارچ *Fusarium* sp. و بهبود جوانه‌زنی در بذور این گیاهان شد (Kordas *et al.,* 2015; Kang *et al.,* 2015).

پلاسمای سرد اتمسفری به عنوان یک رویکرد جدید در کاهش میزان آلودگی بیمارگرهای گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است و نتایج امیدوار کننده‌ای برای ضدعفونی انواع محصولات گیاهی و کشاورزی به وجود آورده است. برای استفاده از پلاسمای سرد در سطح برنامه‌های تجاری و رسیدن به یک روش ایده‌آل در سطح وسیع تر به تحقیقات و بررسی‌های بیش‌تری بر روی کارایی و مکانیسم قارچزدایی به روش پلاسمای سرد نیاز است. همچنین برای این‌که بتوان به نتایج دقیقی از تأاثیر این روش در کنترل بیمارگرهای قارچی دست یافت، لازم است طرح‌های آزمایشی در شرایط گلخانه و آزمایشگاه ارائه گردد.

References

Becker, K. H., Kogelschatz, U., Schoenbach, K. H. and Barker, R. J. 2005. Non-Equilibrium Air Plasmas at atmospheric pressure. **CRC Publishing**. 700pp.

Dunlap, J. R., Wang, Y. T. and Skaria, A. 1994. Abscisic acid and ethylene induced defoliation of *Radermachera sinica* L. Plant Growth Regulation 14: 243-248.

Filatova, I., Azharonok, V., Kadyrov, M., Beljavsky, V., Gvozdov, A., Shik, A. and Antonuk, A. 2011. The effect of plasma treatment of seeds of some grain and legumes on their sowing quality and productivity. Journal of Physics 56: 139-143.

Fridman, A. 2008. Plasma chemistry, Online book. 1022pp.

Fridman, A. and Kennedy, M. 2011. Plasma physics and engineering, 2nd ed. **CBC Publishing**. 941pp.

Graves, D. B. 2012. Low temperature plasma biomedicine. Journal of Physics 19: 40-48.

Kang, M. H., Pengkit, A. K., Choi, S. S., Jeon, H. W., Choi, D.B., Shin, E.H., Choi, H. Uhm, S. and Park, G. 2015. Differential inactivation of fungal spores in water and on seeds by ozone and arc discharge plasma. Journal Pone 1: 10-21.

Key, N. D. and Roberts, M. J. 2006. The value of plant disease early-warning systems: a case study of USA's soybean rust coordinated framework. Economic Research Report 18: 46.

Kong, M. G., Morfill, G. K., Nosenko, G. T., Shimizu, T. and Zimmermann, J. V. D. 2002. Plasma medicine: an introductory review. New Journal of Physics 2: 11-19.

Kordas, L., Pusz, W., Czapka, T. and Kacprzyk, R. 2015. The effect of low-temperature plasma on fungus colonization of winter wheat grain and seed quality. Journal of Environmental Study 24: 433-438.

Morfill, G. E., Steffes, T. S. and Schmidt, H. U. 2002. Nosocomial infections, a new approach towards preventive medicine using plasmas. New Journal of Physics 4: 74-79.

Ouf, S. A., Basher, A. H. and Mohamed, A. 2015. Inhibitory effect of double atmospheric pressure argon cold plasma on spores and mycotoxin production of *Aspergillus niger* contaminating date palm fruits. Journal of the Science of Food and Agriculture 95: 3204-3210.

Panngom, K., Lee, S., Park, D., Sim, G. and Kim, B. 2014. Non-Thermal Plasma Treatment Diminishes Fungal Viability and Up-Regulates Resistance Genes in a Plant Host. Journal pone 9: 6-10.

Pimentel, R. and Morrison, D. 2005. Atmospheric cold plasma jet for plant disease treatment. Applied physics letters 52: 273-288.

Qianqian, Lu., Dongping, L., Ying, S., Renwu, Z. and Jinhai, N. 2014. Inactivation of the tomato pathogen *Cladosporium fulvum* by an atmospheric-pressure cold plasma jet. Plasma Process 11: 1028-1036.

Schiller, J., Arnhold, J., Schwinn, J., Sprinz, H., Brede, O. and Arnold, K. 1998. Reactivity of cartilage and selected carbohydrates with hydroxyl radicals. Free Radical Research 28: 215-228.

Siciliano, I., Spadaro, D., Prelle, A., Vallauri, D., Chiara, M., Angelo, C. and Garibaldi M. L. G. 2016. Use of cold atmospheric plasma to detoxify hazelnuts from aflatoxins. Toxins 10: 33-39.

Strange, R. N. 2003. Introduction to plant pathology**. John Wiley and Sons publishing**. 480pp.

Thirumdas, R., Sarangapani, C. and Annapure, U. S. 2015. Cold Plasma: A novel non-thermal technology for food processing. Food Biophysics 10: 1-11.

Valent, B. 2004. Plant disease: underground life for rice foe. Nature 431: 516–517.

Valinataj, A. A., Hosseinzadeh, F., Sohbatzadeh and Mirzanejhad, S, 2010. Sterilization of *Streptococcus pyogenes* by afterglow dielectric barrier discharge using O_2 and CO_2 working gases. The Chemical Engineering Journal 51: 189-193.

Xinng, Z., Lu, X. P., Feng, A., Pan,Y. and Ostrikov, K. 2010. Highly effective fungal inactivation in He + o_2 atmospheric- pressure non-equilibrium plasmas. Physics of Plasmas 17: 63-70.

Xiong, X., Liu, D., Zhou, R., Song, Y., Sun, Zhang, Y. Q., Niu, J. H. and Yang, S. 2014. Atmospheric cold plasma jet for plant disease treatment. Applied physics letters 104: 43-52.